

埋設管の地震被害率予測法に関する研究

著者	西尾 宣明
号	1081
発行年	1989
URL	http://hdl.handle.net/10097/12030

氏	名	にし	お	のぶ	あき
		西	尾	宣	明
授 与 学 位		工	学	博	士
学位授与年月日		平成元年	7月	12日	
学位授与の根拠法規		学位規則	第5条	第2項	
最 終 学 歴		昭和31年	3月		
		東北大学工学部機械工学科卒業			
学 位 論 文 題 目		埋設管の地震被害率予測法に関する研究			
論 文 審 査 委 員		東北大学教授	佐武 正雄	東北大学教授	尾坂 芳夫
		東北大学教授	柳澤 栄司	東北大学教授	和泉 正哲

論 文 内 容 要 旨

近年、上・下水道、都市ガス、電力、通信等の、いわゆるライフライン施設に対する都市機能の依存度が高まるにつれて、地震によるライフラインの機能損失が都市生活者に与える影響も一層大きくなる傾向にある。ライフラインの主要部をなす埋設管は、平面的に広く分布する、いわゆるネットワークを形成する。それらの大部分は、一般に、あまり耐震的ではないかも知れない既設の埋設管によって構成されている。したがって、その耐震性を高めるためには、新しく埋設する管の材料や継ぎ手等、管の要素に係わる耐震性を向上させるだけでは不十分であり、既設の埋設管類が受けるであろう被害をも考慮した、最適な地震時のネットワークの運用や復旧計画の立案等、いわゆるソフトウェアに属する地震対策も極めて重要となる。この広義のネットワークの耐震化を効果的に進めるためには、埋設管の地域的な被害率の予測が必要となる。

埋設管の地震による被害の程度は地震動の強さによることはもちろんであるが、地盤条件によっても大きく異なる。また、従来あまり強調されていないが、埋設された管の特性（材質、継ぎ手の構造、口径等によって異なる）にも大きく支配される。過去において、地盤条件を考慮して埋設管の被害率を予測する二、三の試みがなされているが、地盤条件と管の特性および地震動の強さの三つの要素の、任意の組合せに対して適用できる被害率予測法の提案は未だ実現していない。

上記の三要素を考慮に入れて合理的に被害率を予測するためには、過去の震害の事例を統計的に処理するような方法では不十分と思われる。それには、地盤条件によって地盤の地震時ひずみが決定される機構を明らかにし、また、管の特性と、それに対する地震ひずみの影響を明確にしなければならない。そのために、筆者は埋設管の過去の震害例を吟味し、また、地震観測や模型実験を行っ

て、地盤の特性と埋設管の地震時ひずみの関係を明らかにした。本論文では、その結果得られた知見をもとに、上記三要素と被害率の間の関係を定量的に表現し、それらの任意の組合せに対して被害率を予測するための方法を提案する。

本論文は8章から構成される。

第1章序論においては、埋設管の耐震性に関して考慮すべき事項を述べ、従来の研究の流れを概観した後、都市ガス供給導管網を例にとり、埋設管の地震被害率予測法の必要性を述べて本論文の目的を提示する。

第2章では、過去の代表的な地震における埋設管の被害状況を再吟味した。地盤の液状化を伴った地震での被害が極めて著しいことを別にすれば、すべての地震に共通して、地盤の不均一性が被害率に強く関係することは明らかである。この地盤の不均一性とは、主として、軟弱な表層地盤の厚さの変化の激しさによって代表されるものである。一方、埋設管の被害の形態を観察すれば、被害がどのような外力によって生じたものかを推定することができる。それは主として管軸方向の繰り返し引っ張り・圧縮力によるものであり、液状化を伴う場合もその他の場合もこの点では変わりなく、埋設管に被害をもたらす地盤挙動の形態は同一であることを示している。また、同一の地盤条件においても、管の種類により被害率が異なることは明らかである。

第3章では、埋設管の地震時挙動に関する既往の研究と、現行の埋設管の耐震設計基準について概観する。多くの研究は、石油パイプライン技術基準に採用された、波動伝播に伴う地盤ひずみのモデルに拘束されているように見える。すなわち、地震観測にもとづく研究の多くは、水平方向の見掛けの波動伝播速度が、石油パイプライン技術基準が定めた速度よりもかなり速く、したがって同基準では埋設管の地震時ひずみが過大評価されることを指摘するにとどまっている。その中で、少数の研究者は地盤の不均一性も埋設管の地震被害の原因となる可能性があることを示唆しているが、その点に着目して埋設管の地震時ひずみを評価する、体系的なモデルを提案するまでには至っていない。

第4章では、筆者が行った埋設管を用いての地震観測について述べる。筆者は五つの異なる場所で地震観測を行った。そのうち、最近観測を行った二つの現場には、明かに不均一な地盤構造を持つ（表層地盤の層厚が急変する）場所が選ばれた。その結果、表層厚さの急変部ではひずみが常に大きくなることが明らかとなった。表面波によると見られるひずみも観測されたが、従来知られていたように、表面波の速度は大きく（したがって波長も長く）、地盤の不均一性とは無関係にほぼ一様なひずみを伴うものである。これに対して、地盤の不均一性に伴う地盤のひずみは、基盤から入射する地震動に対する表層地盤のFEMモデルや連成ばね一質点系モデル（沈埋トンネルの地震応答計算に用いられている）によって適切に評価できる性質のものであり、表層厚さの急変度が著しく、かつ、地盤が軟弱であれば、かなり大きいひずみを生じる得ることが予想される。

第5章では二種類の模型実験について述べる。一つは、1978年の宮城県沖地震において埋設管に著しい被害の集中を見た地区の地盤（および埋設管）に関する、力学的相似模型を用いた実験である。この地区は表層地盤の急変度が著しいだけでなく、極めて軟弱であったため、地盤（埋設管）に生じたひずみは大きく、実際の管（ねじ接合鋼管）が当然被害を受ける可能性があったことを証

明した。この実験結果は、前章の地震観測による知見を補強するものである。

もう一つの実験は、地盤が液状化した時の埋設管の挙動に関するものである。液状化は地下水位よりも深い地盤中で起きるから、管が埋設される、ごく表面に近い地盤では液状化し難いものと考えられる。そこで、管の下方の地盤の一部を液状化させ、そのときの表面層の挙動を調べることで、できる模型を制作し実験を行った。その結果、液状化の範囲が一定の大きさになると、表面層は共振に近い状態となり、埋設管には管軸方向の著しく大きな繰返しひずみが生じることが明らかとなった。第2章で調べた、地盤の液状化に伴う埋設管被害の激しさは、このような地盤挙動のモデルによってよく説明できる。また、このような部分的液状化の状態を、液状化によって作り出された地盤挙動の極度の不均一性と見ることによって、一般の不均一地盤の延長上で取り扱うことが可能になると考えられる。

第6章では、本論文の主目的であるところの、地盤の不均一性、埋設管の特性および地震動の強さの三要素を考慮に入れた埋設管の地震被害率予測法を提案する。最初に、埋設管の被害率予測に関する従来の研究を概観し、関東地震による東京市の水道管の被害に対しても、地盤の不均一性が最も大きな影響を及ぼしたことを再確認する。そのうちの一つでは、地盤の特性を表層地盤の卓越振動数のばらつきを加味して分類すれば、被害率の大小と関連づけることができることが示された。本論文では、その卓越振動数に類似の考え方として、表層地盤の固有振動数によって定まる変位応答値（地震応答スペクトルから求められる）の比較的狭い領域内での変動を標準偏差の形で表現し、これを不均一度指数と名づけた。この不均一度指数を第4章の地震観測現場と第5章の模型実験の対象とした地盤について求め、それと観測された管のひずみ（最大加速度により正規化した値）とを対比すると、両者の間にはかなり高い相関でほぼ比例の関係があることが確かめられた。このことは、地盤の不均一度指数と最大加速度が与えられれば、地盤に生じるひずみの大きさが予測できることを示す（地盤と管のひずみはほぼ同じものとして）。一方、或る大きさのひずみを受けた時に埋設管が被害を受けるかどうかは管の特性によって異なるが、その特性を、管を管軸方向に引っ張った時の変形能力の大きさが代表させるのが適当である。この変形能力について、相対的に変位する二つの地盤ブロックの間にまたがる埋設管に許容される、限界の相対変位量を以て埋設管の地盤変位吸収能力と定義するのが実用的である。これに対応して、地盤のひずみについても、地盤を一定の寸法の離散的な地盤ブロックの集合体と考え、隣接する地盤ブロックの間の相対変位で置き換えるのが適当である。そして、各地盤ブロックの変位の大きさは不均一度指数に対応する標準偏差を以て分布するものとする。埋設管の地震被害率は二つの地盤ブロックの間の相対変位の大きさが埋設管の地盤変位吸収能力を上回る確率として計算されることになる。地盤変位の標準偏差は地震動の強さにほぼ比例するものと考えられるから、この方法により、最初に述べた三つの要素を組み入れた地震被害率予測法が与えられることになる（なお、本論文では地盤ブロックの変位が正規分布に従うものと仮定した）。

第7章では、埋設管の地震被害率予測法の具体的応用例によってその有用性を示す。応用にあたってまず問題となるのは、任意の地盤について、地盤の不均一度指数もしくは地盤変位分布の標準偏差を事前に決定することが困難なことである。そこで、本論文では1978年の宮城県沖地震と1983年

の日本海中部地震における埋設管被害の統計をもとに、いくつかの地盤種別に対して、地盤変位の標準偏差を逆算して推定する例を示した。そして、その数値にもとづき、提案した地震被害率予測法を用いて考察を加えることにより、過去の震害統計に示されたいろいろな特徴が極めてよく説明できることを示した。次いでその結果にもとづき、地盤変位の標準偏差、すなわち不均一度にもとづいて地盤を分類する具体例を示した。このような分類を与えることによって、任意の地盤条件の地域に対して地盤変位の標準偏差のおおよその値を定め、被害率を推定することが容易になる。すなわち、広域的な供給導管網の被害率推定を、実用的な精度で、しかも簡易に行うことができるようになる。

被害率予測法が埋設管の耐震性評価にも有効なことを示す例として、地盤変位吸収能力が異なる何種類かの、既存および仮想の配管系を取り上げ、いろいろな地盤がいろいろな強さの加速度を受けた時に、それらの配管系に予想される被害率を計算する例を示した。このような計算は埋設管の耐震性を改善するための検討などにも役立てることができる。埋設管の地震被害率予測法の最も重要な応用の一つとして、供給導管網に関する地震対策の検討のために基礎データを提供することがあげられるが、そのために本手法を応用するときの考え方についても述べた。その他、本方法の応用に関する将来の展望と問題点についても触れた。

最後に、第8章では本論文で得られた知見と成果について総括し、結論を述べた。

審 査 結 果 の 要 旨

ガス・水道などの埋設管の地震被害は、市民生活に大きい影響があり、その要因を解明して耐震設計法を確率することは、地震工学の重要な課題の一つとなっている。本論文は埋設管の地震被害の実態を調査するとともに、埋設管の地震時挙動を実測・実験によって分析して、主要な被害原因が地盤の不均一性にあることを明らかにし、これに基づいて被害率を予測する手法を提案したもので、全編8章よりなる。

第1章は序論であり、埋設管の耐震設計の考え方について述べている。

第2章では、関東地震を含む5つの主要地震について、埋設管の地震被害の実態を詳細に調査し、継ぎ手部の変形能力や地盤条件が被害に密接な影響があることを明かにしている。とくに、地盤の液状化と被害形態との関係や地盤の不均一性の影響を指摘しているが、これは貴重な知見である。

第3章では、埋設管の地震時挙動に関する既往の研究とそれに基づく従来の耐震設計法について考察し、問題点の指摘を行うとともに、不均一性をもつ地盤のモデル化と埋設管の変位吸収能力を考慮した新しい耐震設計法の必要性を論じている。

第4章は、5ヶ所の現場で行われた埋設管の地震時挙動の観測結果について述べている。埋設管のひずみの特徴を把握するとともに、造成地盤では埋め土と切土の境界部で大きいひずみを生じることなど有益な知見を得ている。

第5章は、地盤条件の影響を調べるために行われた埋設管の地震時挙動の実験について述べている。とくに部分的液状化に関する実験は、液状化による埋設管被害の機構を明らかにしている。

第6章は本論文の中心で、埋設管の地震被害に重要な影響をもつ地盤の不均一性を表わす新しい指標を、表層の加速度応答スペクトルを応用して導入し、またこれと関連づけられる地盤変位の標準偏差を用い、埋設管の地震被害率に関する新しい予測式を提案している。

第7章では、前章の予測式を実際に適用する場合の方法を述べ、宮城県沖地震の例などによって、予測結果は十分に実例と合致し、応用性の高いことを説明している。

第8章は結論である。

以上要するに本論文は、埋設管の地震時挙動・地震被害について詳細な研究を行い、主要な要因である地盤の不均一性を示す新しい指標と被害率予測式を提案し、その適用性を確かめたもので、地震工学及び土木工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。